

基于虚拟信标节点的定位算法^①

钟进发^{1,2}, 许力^{1,2}, 叶阿勇², 黄晨钟²

¹(上海市信息安全综合管理技术研究重点实验室, 上海 200240)

²(福建师范大学 网络安全与密码技术重点实验室, 福州 350007)

摘要: 从无线传感器网络的实际应用中的硬件构件成本及节点定位代价最小化出发, 利用 DV-Hop 算法思想提出一种无需真实物理信标节点的无需测距节点定位算法。该算法利用高斯-马尔可夫移动模型的 Sink 节点周期性地发出当前位置信息分组, 节点收到相应的位置信息分组时, 利用 RSSI 的对数-常态分布模型计算与当前 Sink 节点的距离。节点根据 RSSI 精度门限值是否符合要求提升为虚拟信标节点。实验仿真验证了该定位算法的有效性和可行性。

关键词: 无线传感器网络; DV-Hop; 虚拟信标; 移动 Sink

Localization Algorithm Based on Virtual Beacon Nodes

ZHONG Jin-Fa^{1,2}, XU Li^{1,2}, YE A-Yong², HUANG Chen-Zhong²

¹(Shanghai Key Laboratory of Information Security Integrated Management, Shanghai 200240, China)

²(Key Laboratory of Network Security and Cryptology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: A range-free algorithm based on mobile sink node and DV-Hop localization scheme is proposed in order to decrease the hardware cost and implement complexity of WSN, the sink node mobiles in the network field based on Gauss - Markov mobility model, and sends location information periodically. Nodes sensing the information will compute the distance between sink and itself based on log-normal distribution model of RSSI. Those nodes who received more than 3 pieces of location information in short distance will be updated as virtual nodes. At last, the algorithm's efficacious and feasible was proved by the simulation experimental results.

Keywords: wireless sensor networks; DV-Hop; virtual beacon nodes; mobile sink node

1 引言

对大多数的无线传感器网络应用而言, 不知道节点位置而感知的数据是没有意义的^[1]。研究统计, 传感器节点为用户提供其所在环境的上下文相关信息中, 约 80%的信息是与节点位置信息密切相关^[2]。目前的节点定位系统绝大部分都依赖于网络中一定比率的信标节点作定位的重要参考信息。然而, 信标节点的位置信息通常依赖人工部署或 GPS 实现, 而使用 GPS 为信标节点提供位置信息的硬件成本会比普通节点高两个数量级, 这是阻碍无线传感器网络进入民用、

商用领域的重要因素之一。

本文将从无线传感器网络的实际应用中的硬件构件成本及节点定位代价最小化出发, 提出一种无需真实物理信标节点的无需测距节点定位算法。

2 相关工作

2.1 移动 Sink 节点

近年来国内外已有利用移动信标节点为无线传感器网络中的未知节点提供位置参考信息的思路及相关算法。文献[3]中采用移动信标节点周期性地发出声音

① 基金项目: 海市信息安全综合管理技术研究重点实验室开放课题; 福建省科技计划项目(2008F5020); 福建省教育厅重点资助项目(JA07030); 福建省自然科学基金(2008J0014)。

收稿时间: 2010-05-06; 收到修改稿时间: 2010-05-30

信号,网络中的未知节点根据接收到的声音信号强度值来建立与移动信标节点当前位置的距离关系,但网络节点在硬件结构上必须有相应的声音接收模块,增加节点的硬件成本。文献[4]则提出了配备有 GPS 接收器的移动信标节点遍历整个网络部署区域,移动信标的移动方案采用随机移动策略很难保证其移动区域能够覆盖整个网络,这就导致网络中的一些节点出现无法定位的情况,甚至网络中一片区域的节点都无法定位。文献[5]则对网络部署区域假定为规则形状,如正方形或圆形,并限制移动信标的移动轨迹,如图 1。然而在实际应用中,网络的拓扑图往往不规则,且对信标的移动路径规定要求过高,难保证严格按照设计的路径移动。

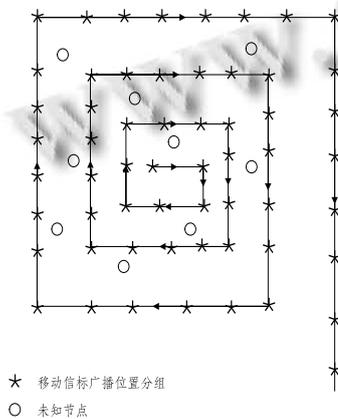


图 1 移动信标的移动轨迹

随着通信技术的进步,移动终端的接入技术已经成熟。国外的学者已经验证利用移动 Sink 收集传感数据的优势^[6]。Sink 节点在这个网络应用中起着数据桥梁的作用,负责收集传感器网络中的感知数据,并发送一些管理终端的控制信息至传感器网络节点。

2.2 RSSI 技术

RSSI 是一种常见的低成本、粗粒度的测距技术,可以在接收信标信息的同时可完成 RSSI 的测量,无需配置额外硬件。当定位误差小于传感器节点无线通信半径时,定位误差对路由性能和目标追踪精确度的影响不会很大^[7]。但实验表明^[8],随着发出信号与接收信号节点之间的距离的增大,RSSI 测距的误差也将越明显。所以,如果发出信号与接收信号节点之间的距离在误差范围小的距离内,将得到比较精确的测量值。

2.3 DV-Hop 定位算法

DV-Hop 算法由以下 3 个阶段组成:

① 网络中的节点获取自身与每个信标节点的最小跳数。

这一阶段利用典型的距离矢量交换协议来获取网络中的所有节点到每个信标节点的最小跳数及传播过程中经过的路径系列。

② 各信标节点计算平均单跳距离校正值。

每个信标节点根据第①阶段中记录的其他信标节点的位置信息和相距跳数估算平均单跳距离校正值。

③ 利用三边测量法或极大似然估计法计算自身位置。

未知节点利用第②阶段中记录的 3 个或更多信标节点的距离,利用三边测量法或极大似然估计法计算自身坐标。

3 基于虚拟信标的节点定位算法设计

在设计节点定位算法时不但要考虑定位精度、时效性等性能,而且必须考虑传感器网络节点受成本、体积、功耗、有限的计算及通信能力等限制。实验表明,当定位误差小于传感器节点无线通信半径的 40% 时^[9],定位误差对一般应用的影响不会很大。

3.1 Sink 节点的移动模型

本文算法中,Sink 节点采取高斯-马尔可夫移动模型,此模型对硬件配置要求相对较低,高斯-马尔可夫移动模型的公式定义为:

$$v_k = \alpha v_{k-1} + (1 - \alpha)v_{avg} + (\sqrt{1 - \alpha^2})v_{x_{k-1}} \quad (1)$$

$$d_k = \alpha d_{k-1} + (1 - \alpha)d_{avg} + (\sqrt{1 - \alpha^2})d_{x_{k-1}} \quad (2)$$

$$x_k = x_{k-1} + v_{k-1} \times \cos(d_{k-1}) \quad (3)$$

$$y_k = y_{k-1} + v_{k-1} \times \sin(d_{k-1}) \quad (4)$$

其中, v_k , d_k 代表 k 时刻的速度与方向, v_{avg} , d_{avg} 代表平均速度与平均运动方向, α 是随机度调节参数, (x_k, y_k) 是 k 时刻的平面位置坐标。

3.2 RSSI 信号强度-距离模型

本文算法将采用 RSSI 的对数-常态分布模型作为无线传感器网络路径损耗模型,其公式定义为:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10n \lg(d/d_0) + X_\sigma \quad (5)$$

其中, $d_0 = 1m$ 是参考距离, $PL(d_0)$ 是经过距离为 d_0 后的路径损耗; d 是真实距离; $PL(d)$ 是信标信号到达未知节点后的路径损耗; x_σ 是平均值为零的以 dB 为单位的遮蔽因子; n 是路径损耗指数。

3.3 虚拟信标的选取

由于 RSSI 测距的精度随着距离的增大会迅速下降, 在距离较小时的测距精度较高。若网络中的节点收到 3 个或 3 个以上 Sink 节点近距离发出的信息包, 则该节点可以得到精度较高的定位结果。基于上述思想, 我们把满足收到 3 个或 3 个以上 Sink 节点近距离发出的信息包的节点提升为虚拟信标节点。本文算法中收到 3 个或 3 个以上 Sink 节点发出的信息包, 且满足公式: $(\alpha R - d_{RSSI-i}) \geq 0$ 。其中, α 为距离参数调节因子, R 为网络中节点的通信半径, d_{RSSI-i} 为网络节点接收到 Sink 节点发出的第 i 个信息包 RSSI 测距的距离值。

3.4 基于虚拟信标的 DV-Hop 定位算法

网络中的节点完成了虚拟信标的选取工作后, 便可以利用 DV-Hop 定位算法的思想及步骤为网络中的其他节点定位。基于虚拟信标的 DV-Hop 定位算法可以由以下步骤完成:

① Sink 节点在网络部署区域内移动, 并周期性地发出位置信标信号。

配备有 GPS 或其它获取当前位置信息设备的 Sink 节点采取高斯-马尔可夫移动模型在网络部署区域内移动, 并周期性地发出包含当前 Sink 节点位置信息的信标信号。图 2 与图 3 分别为网络中随机分布 200 个节点, 移动 Sink 节点发送 500 次及 1200 次位置信息的信标信号时的实验图。

② 提升网络中的部分节点为网络虚拟信标节点。

网络中的节点收到 Sink 节点发出的位置信标信息, 利用 RSSI 对数-常态分布模型作为无线传感器网络路径损耗模型, 计算出距离。若节点收到三个或三个以上 Sink 节点发出的位置信息包, 且满足公式: , 则利用三边测量法或极大似然估计法计算自身坐标, 并将该节点提升为网络虚拟信标节点。

③ 网络中的节点获取自身与每个虚拟信标节点的最小跳数。

这一阶段利用典型的距离矢量交换 (DV, Distance Vector) 协议来获取网络中的所有节点到每个虚拟信标节点的最小跳数及传播过程中经过的

路径系列。

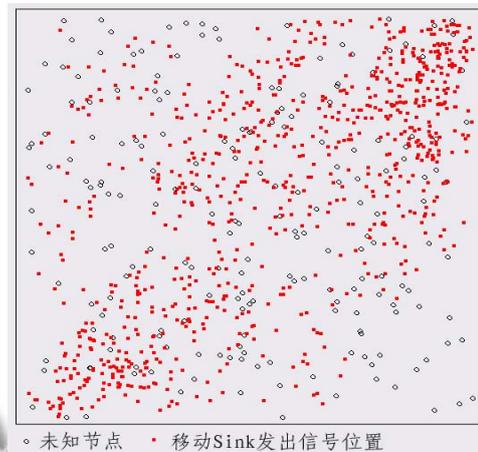


图 2 Sink 节点发出 500 次位置信息

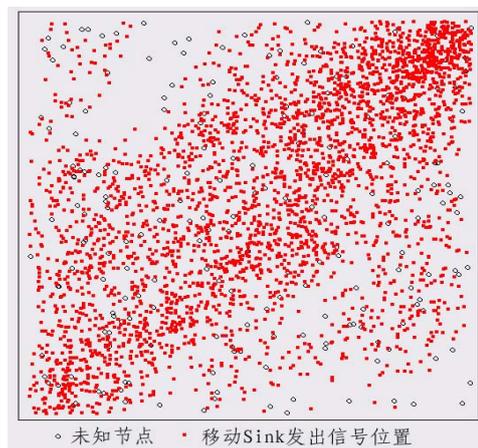


图 3 Sink 节点发出 1200 次位置信息

④ 各虚拟信标节点计算平均单跳距离校正值得。

每个虚拟信标节点根据第③阶段中记录的其它虚拟信标节点的位置信息和相距跳数, 利用式 6 估算平均单跳距离校正值得。然后, 虚拟信标节点将计算的校正值得广播至网络中。网络中的节点接收到校正值得后, 根据记录的跳数, 计算到每个信标节点的距离。

$$HopSize_i = \frac{\sum_{i \neq j} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{i \neq j} h_j} \quad (5)$$

其中, $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$ 是虚拟信标节点 i, j 的坐标, h_j 是虚拟信标节点 i 与 j ($j \neq i$) 的跳数。

⑤ 利用三边测量法或极大似然估计法计算自身位置

未知节点利用第④阶段中记录的 3 个或更多虚拟信标节点的距离,利用三边测量法或极大似然估计法计算自身坐标。

4 仿真实验结果及分析

在本文实验中,为了得到更客观的实验数据,对每个实验场景都执行 10 次并对得到的结果取平均值。在本实验中,在固定大小的实验平面区域内(500×500),Sink 节点以高斯-马尔可夫移动模型在网络部署区域内移动,通过改变 Sink 节点广播位置信息包的次数即时间来控制 Sink 节点所能覆盖的区域;定位误差定义为未知节点经定位算法的估算坐标位置与其实际坐标位置间的距离与节点的通信半径值的比值,即:

$$I = \frac{\sqrt{(x_i - x_e)^2 + (y_i - y_e)^2}}{R}$$

其中估算坐标位置为 (x_e, y_e) ,其实际坐标位置为 (x_i, y_i) ,节点的通信半径值为 R 。其他相关参数说明: Sink 节点与网络中节点的通信半径均假设为 $R=100$,距离参数调节因子 $\alpha=0.6$,路径损耗指数 $n=1$,网络节点总数为 200 个,网络节点随机部署在网络中。

图 4 是在上述实验参数环境下 Sink 节点移动过程中广播不同次数,网络中的节点可提升为虚拟信标节点占总节点数的比例关系实验数据。从图 4 可看出,在实验区域中 Sink 节点广播次数在 400 次到 800 次间,网络中可提升为虚拟信标节点的速度较快。

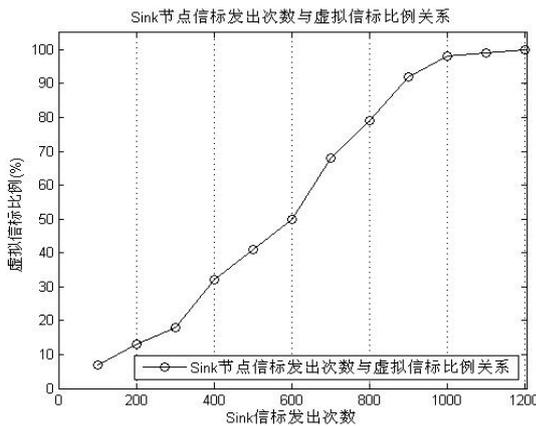


图 4 信标信息发出次数与虚拟信标比例关系

图 5 是 200 个网络节点随机放置,通过改变信标节点的个数来改变信标节点比例的实验结果。从实验数据可以看出网络随着信标节点比例的增加,

DV-Hop 定位算法的定位精度有不同程度地提高。由于信标节点的成本原因,在传感器网络节点中的比例不能太高,但虚拟信标节点则没有信标节点的硬件要求,即与普通的网络节点在硬件结构要求一致,因此,我们可以增加 Sink 节点的信标广播次数来提高网络中虚拟信标节点的比例,从而提高节点的定位精度。图 6 是在上述实验参数环境下 Sink 节点移动过程中广播不同次数来调节虚拟信标节点占网络中节点的比例对节点定位误差的影响数据图。从图 6 可看出,虚拟信标节点的比例在较小时,如 35%以下,本章算法虽然在网络硬件成本上有绝对的优势,但在定位精度上还不如经典 DV-Hop 定位算法。由于经典 DV-Hop 定位算法在信标节点比例上的限制,不能接受较大比例物理信标节点,但本算法可以实现网络中无物理信标节点的前提下增加虚拟信标节点的比例。随着虚拟信标节点比例的增大,该算法的节点定位精度也随之改善且超越传统 DV-Hop 定位算法的定位精度。

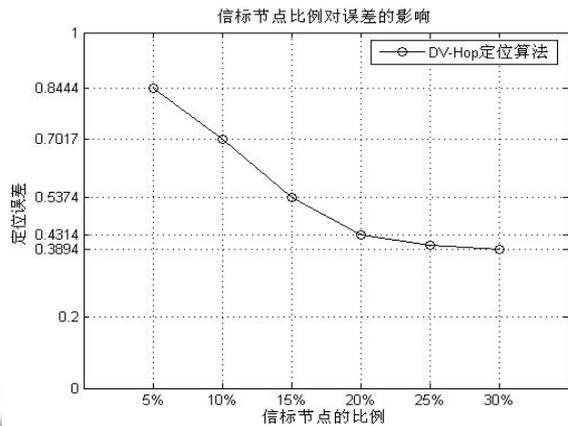


图 5 信标节点比例对 DV-Hop 算法定位误差的影响

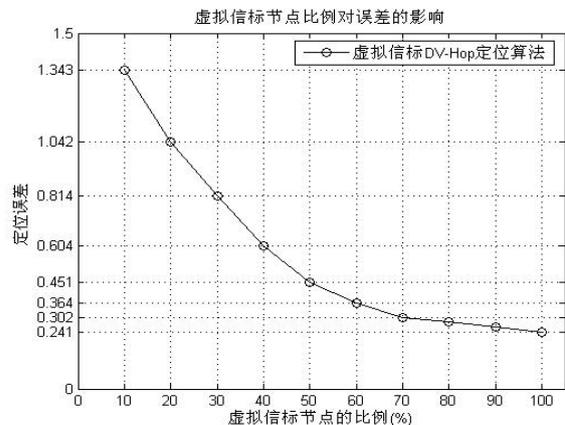


图 6 虚拟信标节点比例定位误差的影响

5 结语

本文根据 DV-Hop 算法思想及 RSSI 算法特性,提出一种基于移动信标节点的无需测距节点定位算法,该算法有以下优点:

① 网络中无需真实物理信标节点,大大降低网络的硬件构造成本;

② 移动 Sink 节点无需覆盖整个网络部署区域便可以实现网络节点的定位,对移动路径、范围无特殊限制,降低算法实现门槛;

③ 网络节点在获取与当前 Sink 节点距离过程中无需额外的测距设备;

④ 不增加网络成本的情况下,网络中可以有高比例的虚拟信标节点,提高定位精度;

⑤ 算法简单、容易实现。

然而,该算法也存在一些不足,节点在利用计算与当前移动 Sink 节点的距离过程中在一定程度上增加一些计算代价;虚拟信标节点比例较低的情况下,节点的定位精度不够理想等。因此在如何最大化地减小计算、虚拟信标节点比例较低时提高定位精度方面仍然需做些改进工作。

参考文献

- 1 钟进发,许力,叶阿勇.基于邻节点空间顺序序列优化的 DV-Hop 定位算法.计算机系统应用,2010,19(2):62-66.
- 2 Hightower J, Borriello G. Location systems for ubiquitous computing. IEEE Computer, August 2001,34(8):57-66.
- 3 Kushwaha, Molnar M, Sallai K, et al. Sensor Node Localization with Mobile Acoustic Beacons. Proc. 2005 IEEE MASS. Washington: IEEE Communications Society, 2005. 263-269.
- 4 Srinath TV. Localization in Resource Const rained Sensor Networks Using a Mobile Beacon with In2Ranging. IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks, India, 2006. 301-305.
- 5 董齐芬,冯远静,俞立.基于移动信标节点的无线传感器网络定位算法研究.传感技术学报,2008,21(5):823-827.
- 6 程龙,陈灿峰,马建.无线传感器网络中多移动 sink 的选择策略.通信学报,2008,29(11):12-18.
- 7 He T, Huang CD, Blum BM, Stankovic JA, Abdelzaher T. Range-Free localization schemes in large scale sensor networks. Proc. of the 9th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking. San Diego: ACM Press, 2003. 81-95.
- 8 朱剑,赵海,孙佩刚,毕远国.基于 RSSI 均值的等边三角形定位算法.东北大学学报(自然科学版),2007,28(8):1094-1097.
- 9 Savvides A, Han CC, Srivastava MB. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networksof sensors. Proc. of the 7th Annual Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking.Rome: ACM Press, 2001. 166-179.